

Implementacija FIR filtra koristeći N-modular redundancy wih spares tehnikom

Ivan Čejčić EE54-2019

December 2023

1 Uvod

N-modularna redundancija sa rezervama predstavlja robustnu tehniku koja se koristi u digitalnim sistemima radi smanjenja mogućnosti pojave grešaka. Osnovna ideja podrazumeva uvoenje više hardverskih resursa sa identičnom funkcionalnošću. Konačan rezultat odreuje se na osnovu većine ovih redundantnih komponenti. Osim toga, ova tehnika omogućava uključivanje K rezervnih funkcionalnih jedinica koje deluju kao zamene za eventualno neispravne jedinice. Shematski prikaz ovakvog sistema ilustrovan je na Slici 1.

Kao što je prikazano, N funkcionalnih jedinica služe kao osnovne komponente, svaka izvršava iste funkcije. Uloga switch komponente je da izabere N signala iz ukupno $N+K$, koji se potom proslejuju na izlaz i biraju za glasanje. Voter komponenta prepoznaje najčešće javljene podatke i označava ih kao ispravne izlaze. Takoe, postoji logika koja prati izlaze prekidačkih modula. Na osnovu izabranog podatka identifikuje da li su neke od ulaznih funkcionalnih jedinica neispravne. Njena funkcija je da identifikuje komponentu koja nije ispravna i zameni je nekom od K rezervnih komponenti.

Ova inovativna strategija redundancije ne samo da obezbeuje tačnost izlaza sistema putem glasanja, već pruža i mehanizam samopopravke zamjenom neispravnih komponenti dostupnim rezervama. Ovo je moćan pristup poboljšanju pouzdanosti i otpornosti na greške digitalnih sistema, čime se osigurava neprekidan rad u kritičnim aplikacijama.

U ovom projektu primenjena je ova tehnika na implementaciji FIR filtra. Umesto svakog MAC modula postoji komponenta koja se sastoji od $N+K$ MAC modula, i po jedne switch, voter i decision logike.

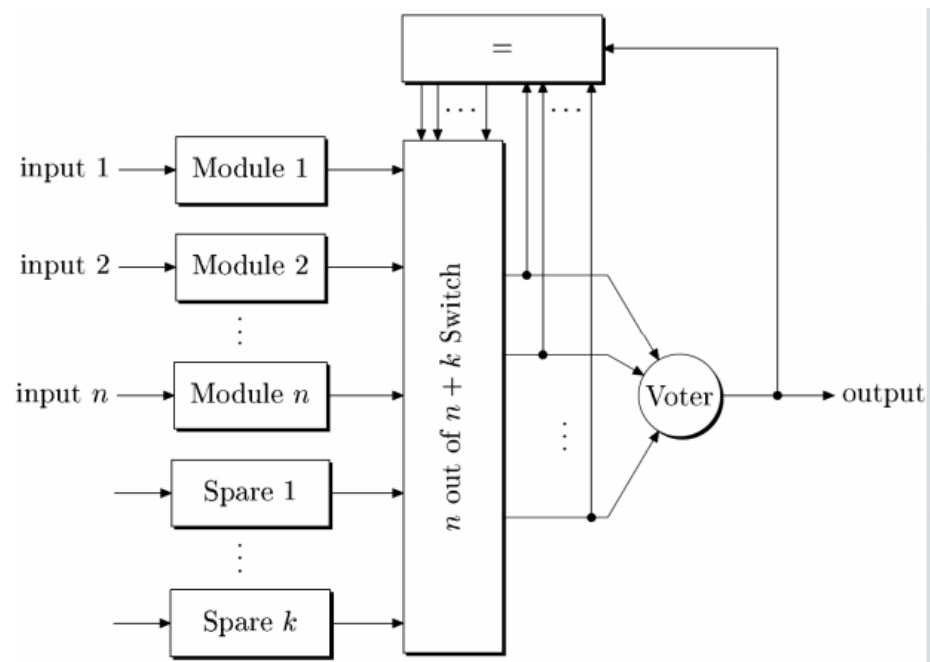


Figure 1: Blok dijagram sistema koji je implementiran pomiću Nmodular redundancy with spares tehnike

2 Implementacija SWITCH

Na slici 2 prikazan je blok dijagram implementacije *switch* komponente. Za svaki izlaz je potreban po 1 multiplexer koji ima $K+1$ izlaza. Na svaki multiplexer dovode se K signala, od svake rezervne komponente i jedan ulaz koji pripada jednoj od N glavnih komponenti. Na ovaj način moguće je izabrati bilo koju rezervnu MAC componentu ukoliko se glavna pokvari. Ne samo to, ukoliko se desi da se pokvari i rezervna komponenta, moguće je zameniti drugom rezervnom komponentom.

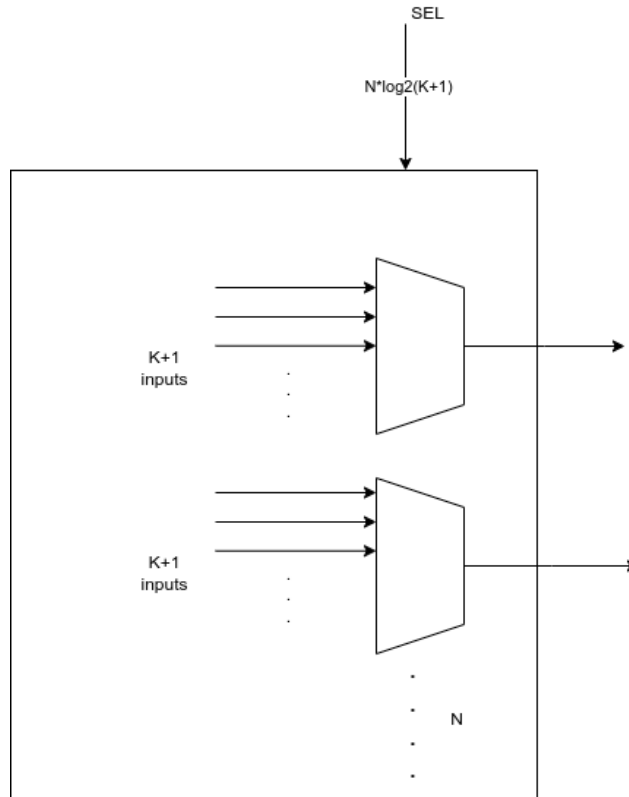


Figure 2: Blok dijagram sistema koji je implementiran pomicu Nmodular redundancy with spares tehnike

3 Implementacija VOTER

Voter ima ključnu ulogu u prebrojavanju logičkih jedinica na svakoj poziciji u `std_logic_vector`-u koji predstavlja N ulaznih signala. Na primer, u situaciji kada postoji N ulaznih signala u voteru, njegova odgovornost je da izračuna koliko

puta se logička vrednost '1' pojavljuje na [0] poziciji `std_logic_vector-a`.

Postupak je sledeći: ukoliko broj jedinica na ovoj poziciji premaši $N/2$, voter donosi odluku da će prava vrednost na izlaznom podatku na istoj poziciji biti '1'. Nasuprot tome, ako je broj jedinica manji od $N/2$, tada će izglasani vektor na poziciji [0] imati vrednost '0'.

4 Implementacija decision logic bloka

Decision logic block ima ključnu ulogu u detektovanju potencijalnih kvarova na jednoj od funkcionalnih jedinica. Posmatra izlazne signale iz *switch* komponente, kao i izlaz iz voter komponente, koji bi trebao da predstavlja ispravan podatak. Za svaki od N izlaza *switch* komponente, ovaj blok vrši uporeivanje sa ispravnim podatkom kako bi identifikovao eventualne greške na modulima. Ovim postupkom generiše selekzione ulaze za svaki od multipleksera.

Inicijalno, svi selekциони ulazi su postavljeni na vrednost 0, što simbolizuje situaciju kada svi N MAC modula ispravno funkcionišu. Meutim, u slučaju da dođe do greške na nekom od N MAC modula, Decision logic block automatski menja selekциони ulaz, usmeravajući ga ka izlazu jednog od K rezervnih MAC modula.

5 Simulacija

Na narednih par slika biće prikazan rad ovakvog sistema. Kvarovi će biti demonstrani forsiranjem određenog signala na neku od logičkih vrednosti. Za N parametar uzeta je vrednost 5, a za parametar K uzeto je 3. Ovo se može menjati u dizajnu i simulaciji po potrebi.

Na slici 3 prikazan je kvar prve komponente(MAC-N0). Forsirana su 2 bita na logičku jedinicu. Može se videti da se taj signal prosledjuje na izlaz *switch* komponente. Kada se ovo dogodi, *decision* logika detektuje kvar, menja selekzione ulaze, nakon čega proslednjuje izlaz MAC-K0 na *switch_out0*. Na ovaj način je N0 komponenta zamenjena za K0.

Na slici 4 prikazan je kvar forsiran druge komponente(MAC-N1). Forsiran je 1 bita na logičku jedinicu. Može se videti da se taj signal prosledjuje na izlaz *switch* komponente. Kada se ovo dogodi, decision logika opet detektuje kvar, menja selekzione ulaze za drugi multiplekser, nakon čega proslednjuje izlaz MAC-K1 na *switch_out1*. Na ovaj način je N1 komponenta zamenjena sa K1.

LAYER0			
MAC - N0			
mac_out	200008000000	000000000000 X	200008000000
MAC - N1			
mac_out	000000000000		000000000000
MAC - N2			
mac_out	000000000000		000000000000
MAC - N3			
mac_out	000000000000		000000000000
MAC - N4			
mac_out	000000000000		000000000000
MAC - K0			
mac_out	000000000000		000000000000
MAC - K1			
mac_out	000000000000		000000000000
MAC - K2			
mac_out	000000000000		000000000000
SWITCH			
switch_out0	000000000000	000000000000 X 200000000000 X	000000000000
switch_out1	000000000000		000000000000
switch_out2	000000000000		000000000000
switch_out3	000000000000		000000000000
switch_out4	000000000000		000000000000
VOTER			
## output_vector[47:0]	000000000000		000000000000

Figure 3: Forsirana greška na N0 modulu - zamena sa K0

LAYER0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Figure 4: Forsirana greška na N1 modulu - zamena sa K1

Radi ilustracije, na slici 5 prikazan je kvar zamenske komponente K0, i način na koji sistem reaguje na takve situacije. Forsiran je 1 bita na logičku jedinicu. Signal je vidljiv na izlazu *switch* komponente. Kada se ovo dogodi, *decision* logika detektuje kvar, menja selekzione ulaze za prvi multiplexer(K0 menja N0 pošto je N0 pokvaren), nakon čega proslednjuje izlaz MAC-K2 na *switch_out0*. Na ovaj način je K0 komponenta zamenjena sa K3.

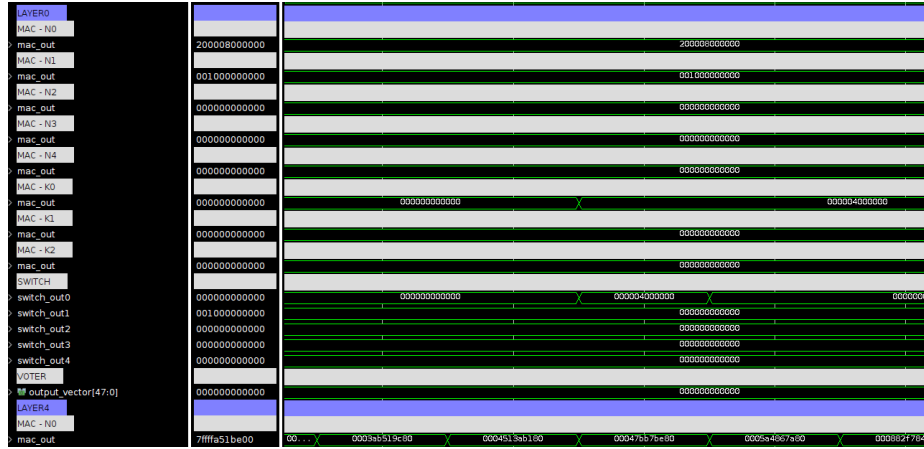


Figure 5: Forsirana greška na K0 modulu - zamena sa K2

Pošto su iskorišćena sva 3 rezervna modula, nema više rezervnih modula i nije moguće promeniti neki pokvaren modul sa ispravnim. To je prikazano na slici 6. Sada je forsiran kvar na K2 komponenti. Medjutim nema više slobodnih ispravnih MAC modula i neće doći ni do kakve zamene. Od ove tačke, sistem se oslanja na voter logiku. Izlaz i voter-a je i dalje ispravan pošto je većina izlaznih signal iz *switch*-a nula.

6 Utrošenost resursa i frekvencija

Procenjena frekvencija sistema pre primene tehnike za redundantnost iznosi oko 250MHz, u poredjenju sa filterom sa primenjenom tehnikom kada je maksimalna učestanost od oko 150MHz. Ova frekvencija je procenjena kada su uzeti u obzir sledeći parametri: $N=2$ $K=1$ (implementacija nije mogla da se izvrši za veće parametre zbog velike utrošenosti resursa). Kao što se može primetiti da je frekvencija značajno opala i za malu redundantnost. Povećanjem broja MAC-ova frekvencija bi bila sve manja.

Na slici 7 se može videti utrošenost resursa pre primene metode, a na slici 8 se može videti utrošenost resursa nakon primene metode za parametre $N=5$

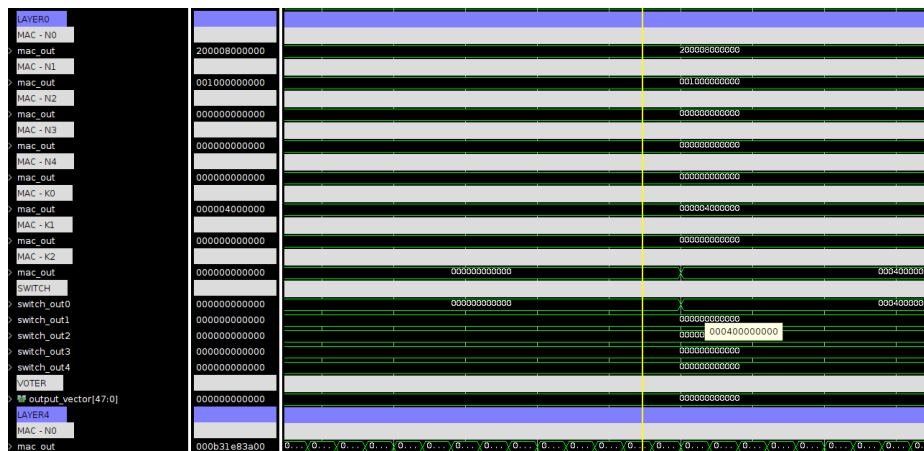


Figure 6: Forsirana greška na K2 modulu - bez zemene

i $K=3$. Može se primetiti da je broj iskorišćenih DSP jedinica tačno 8 puta veći ($N+K$ veći).

Resource	Utilization	Available	Utilization %
LUT	29	17600	0.16
FF	403	35200	1.14
DSP	21	80	26.25

Figure 7: Resursi pre primene tehnike

Resource	Estimation	Available	Utilization %
LUT	6081	17600	34.55
FF	655	35200	1.86
DSP	168	80	210.00

Figure 8: Resursi nakon primene tehnike